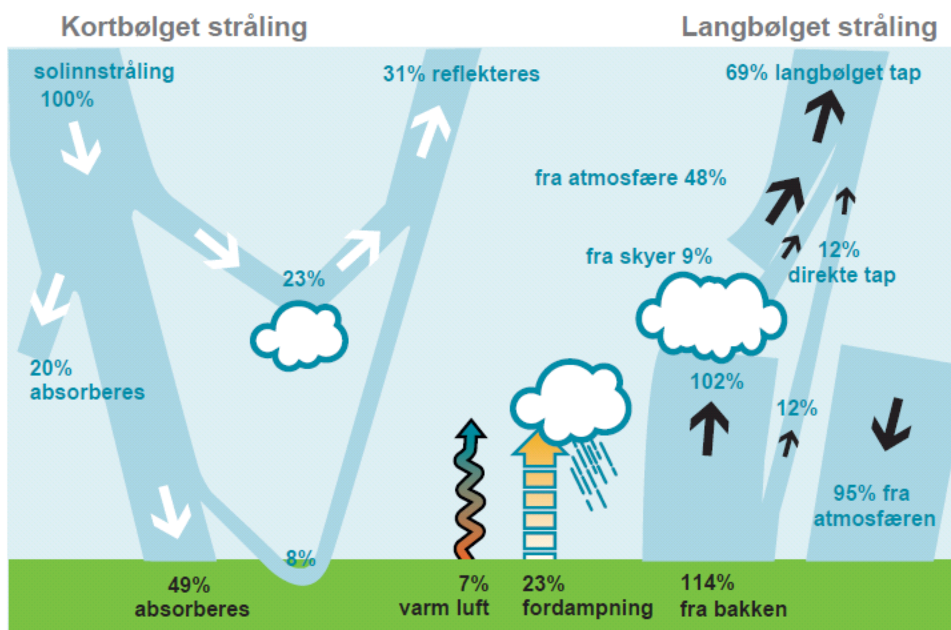
SPØRSMÅL OG SVAR OM DRIVHUSEFFEKTEN

1. Hva drivhuseffekten?

Drivhuseffekten oppstår fordi kortbølget stråling (hovedsakelig synlig lys) fra sola i stor grad kommer ned til jorda og varmer den opp. Jorda sender ut varmestråling som er langbølget, og en del av denne absorberes av vanndamp, skyer og noen gasser i atmosfæren som sender den ut igjen i ulike retninger. Disse gassene kaller vi drivhusgasser eller klimagasser (se spørsmål 2). Noe av den absorberte strålingen sendes tilbake til jorda og bidrar til oppvarming.

Drivhuseffekten har alltid eksistert og gjør det levelig på jorda. Uten den ville jorda vært omtrent 33 grader kaldere. Økning i konsentrasjonen av klimagassene vil imidlertid øke drivhuseffekten. Dermed øker mengden energi jordoverflaten mottar. Energi tilført blir større enn energi ut. Denne ubalansen kompenseres etter hvert ved at temperaturen øker, slik at mer energi strømmer ut, men det tar tid før det blir likevekt. Det er derfor nå en ubalanse mellom energi inn og energi ut øverst atmosfæren på omtrent 0,6 watt per kvadratmeter. Det er ofte denne forsterkningen vi har i tankene når vi snakker om drivhuseffekten.

Drivhuseffekten er egentlig ikke noe godt navn siden oppvarmingen i et drivhus hovedsakelig kommer av at luftutvekslingen med omgivelsene begrenses.



Figuren viser jordas energibalanse, som styres av innstråling fra solen, atmosfærens sammensetning og refleksjon fra bakke og atmosfære. Omlag halvparten av solinnstrålingen blir absorbert av jordas overflate. Denne energien transporteres til atmosfæren ved å varme opp luften nær bakken (rød-blå pil), fordampning (gul pil) og ved langbølget stråling (sorte piler), som igjen blir absorbert av skyer og drivhusgasser. Noe av denne varmestrålingen havner i verdensrommet, men mesteparten stråler

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

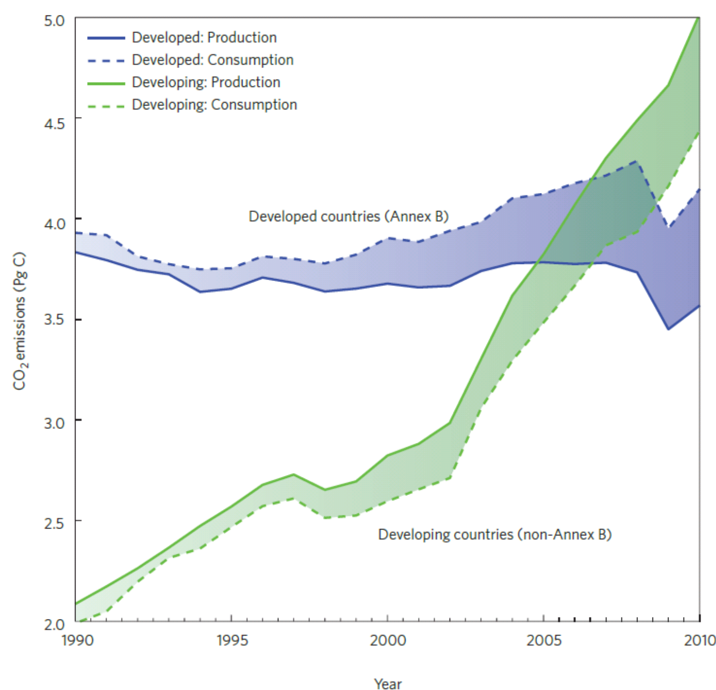
tilbake til jorda. Størrelser er gitt i prosent av gjennomsnittlig solinnstråling, som er omtrent 340W/m^2. Figuren er fra Bjerknessenterets nettsider, http://www.bjerknes.uib.no/filer/1671.pdf.

2. Hva er drivhusgasser (klimagasser)?

Mengder av karbondioksid angis gjerne enten som milliarder tonn CO_2 (gigatonn CO_2, $GtCO_2$) eller milliarder tonn karbon (gigatonn C, GtC). Strømmer (flukser) angis som GtCO2 per år eller GtC per år. Noen ganger benyttes enheten petagram (Pg) som er det samme som Gt. For å gjøre om fra GtC til $GtCO_2$, må det multipliseres med 3,7. Andre klimagasser angis som den tilsvarende mengde CO_2, CO_2-ekvivalenter. Siden gassene har forskjellig oppholdstid i atmosfæren, vil omregningen avhenge av hvilket tidsperspektiv en benytter. Oftest benyttes 100 år, men også 20 eller 500 år benyttes. I et hundreårsperspektiv vil 1 kg metan svare til omtrent 25 kg CO_2, men benyttes 20 år, er tallet omtrent 72 kg.

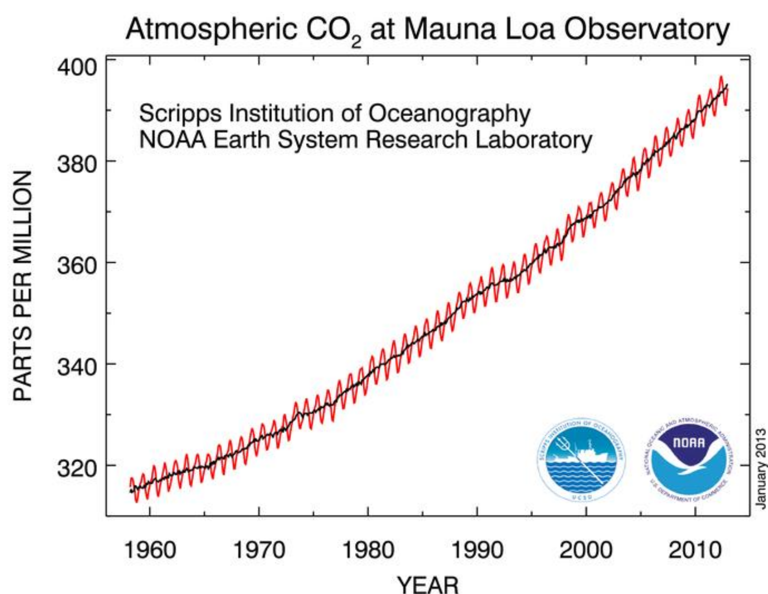
Størst virkning har vanndamp, men konsentrasjonen av vanndamp i atmosfæren er ikke noe vi påvirker direkte, den innstiller seg hovedsakelig etter temperaturen. Nest viktigst er karbondioksid (CO_2). Menneskeskapte utslipp er først og fremst fra bruk av fossilt brensel, men det er også bidrag fra sementproduksjon og avskogning i tropene. Konsentrasjonen av CO_2 i atmosfæren var i førindustriell tid omtrent 280 ppm (parts per million) og er nå omtrent 393 ppm. (Se også spørsmål 7). Metan (CH_4) er en annen viktig klimagass, andre er lystgass (N_2O) og mange fluorholdige gasser. Gassene har ulik oppholdstid i atmosfæren. Mens utslipp av CO_2 vil påvirke atmosfærens konsentrasjon i mer enn tusen år, forvinner mesteparten av et metanutslipp i løpet av 2 – 3 tiår. Siden det dannes CO_2, vil det imidlertid være en viss effekt over lengre tid. Ved siden av klimagassene påvirkes temperaturen av partikler i atmosfæren. De fleste partikler bidrar til å avkjøle jordoverflata, unntaket er sotpartikler. Det er fortsatt stor usikkerhet knyttet til partiklenes klimavirkninger.

Det har vært en rask økning i globale utslipp av CO_2. Som figuren nedenfor viser, skyldes dette økt utslipp i utviklingsland. Per person er imidlertid utslippene i disse landene oftest små. I Kina, der utslippene har økt særlig raskt slik at det nå er landet med de største CO_2-utslippene, er utslippene per person omtrent på samme nivå som i EU-25 og noe mindre enn i Norge. I USA er utslippene per person omtrent 2,5 ganger større. I India øker også utslippene raskt, men er fortsatt lave per person. Utslipp av enkelte andre klimagasser er blitt redusert, hovedsakelig fordi de også virker nedbrytende på ozonlaget, og de fleste land har forpliktet seg til å redusere eller fase ut bruken gjennom Montreal-protokollen. De norske utslippene av slike gasser er betydelig redusert, noe som har gjort at våre samlete utslipp i 2011”bare” var omtrent 6 prosent høyere enn i 1990.



CO_2-utslipp for industriland og utviklingsland. Heltrukne linjer viser utslipp regnet på vanlig måte (som i Kyotoprotokollen). Stiplete linjer viser utslipp når utslippene knyttet til vareproduksjon tilskrives landet der varen benyttes.

De økte utslippene har ført til en kraftig økning i CO_2-konsentrasjonen som figuren under viser.



Nøyaktige målinger av CO_2-konsentrasjonen fikk en først med målinger på Hawaii som startet i 1958. Den røde kurven viser at konsentrasjonen varierer med årstiden. Den svarte kurven viser utglattede verdier.

Det har vært fremsatt påstander om at det har vært høyere CO_2-konsentrasjoner på 1800-tallet og i første halvdel av 1900-tallet enn i dag. Dette er feil. Påstanden bygger på et utvalg av målinger som er svært usikre og/eller er tatt på steder der det er lokale CO_2-utslipp. En vurdering av de gamle målingene er gitt i artikkelen ”Lite skeptiske klimaskeptikere” på CICEROs nettsider. Den finnes på http://www.cicero.uio.no/webnews/index.aspx?id=10988

3. Hva er begrunnelsen for å si at vi har menneskeskapte klimaendringer?

Som nevnt under spørsmål 1, vil en vente temperaturøkning når konsentrasjonen av klimagassene øker i atmosfæren. Dette ble påpekt allerede på 1800-tallet, og den svenske kjemikeren Svante Arrhenius publiserte en kvantitativ beregning i 1896. En kan lage matematiske modeller over hvordan klimaet vil endres når konsentrasjonene av klimagasser endres. Disse kan være av svært varierende kompleksitet. Modellene gir noe ulike resultater, men alle viser temperaturøkning ved økt konsentrasjon av klimagasser. (Se også spørsmål 8).

Fra siste del av 1800-tallet har en målinger av temperatur og etter hvert nedbør og andre klimaparametre. Utviklingen, spesielt fra omkring 1975, kan vanskelig forklares uten å ha økt konsentrasjon av drivhusgasser som en viktig faktor. (Se også spørsmål 4). Temperaturøkningen er ikke den samme over hele kloden. Den er større over land enn over hav og størst i Arktis. Dette er i overensstemmelse med modellberegninger.

Blant annet ved å studere boreprøver av is i Antarktis og på Grønland kan en å få kunnskap om klima og konsentrasjoner av drivhusgasser i tidligere tider. Det er funnet varme perioder med høye konsentrasjoner av drivhusgasser for eksempel for 55 og omtrent 250 millioner år siden. En sammenlikning mellom forholdene under siste istid for omtrent 20 000 år siden og de forhold vi har i dag, tyder også sterkt på at klimagassene har stor betydning for temperaturen.

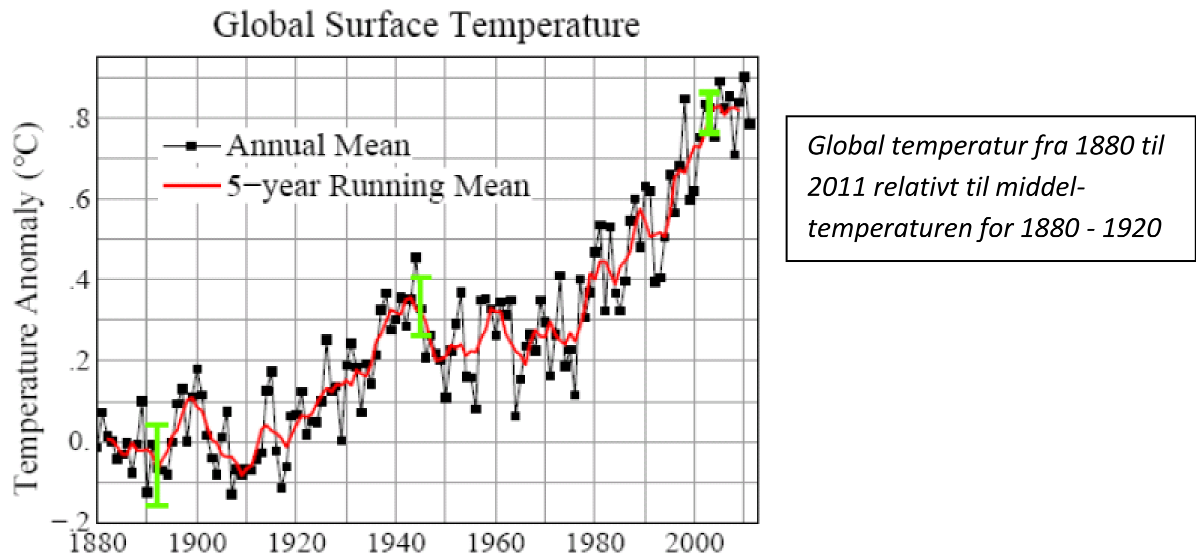
4. Det har vært mindre temperaturstigning de siste årene enn i siste del av forrige århundre. Betyr det at faren for klimaendringer har vært overdrevet?

Mange "klimaskeptikere" hevder at CO_2-konsentrasjonen ikke kan bety noe for global temperatur siden det er perioder der CO_2-konsentrasjonen øker mens det er liten endring i temperaturen. Det er imidlertid en rekke faktorer som påvirker temperaturen i tillegg til konsentrasjonen av klimagassene, variasjoner i havstrømmene er kanskje viktigst. Spesielt er skiftinger mellom El Niño og La Niña forhold av stor betydning. Disse betegnelsene referer til luft- og havstrømmer i Stillehavet. Under El Niño-forhold er vanligvis den globale temperaturen høy, under La Niña er den lav. Det er et naturlig fenomen som har eksistert lenge før det var snakk om en menneskeskapt klimaeffekt. Hvordan menneskeskapte klimaendringer påvirker dette fenomenet, er ikke godt forstått. Andre naturlige faktorer som påvirker klimaet, er partikkelutslipp fra vulkaner og variasjoner i solinnstrålingen.

På grunn av disse påvirkningene kan en få liten variasjon, eller til og med nedgang, i global temperatur i kortere perioder selv om den menneskeskapte drivhuseeffekten øker. Kurven for global temperatur viser da også perioder med rask stigning og perioder med utflating for eksempel for de senere år. Ser vi imidlertid på middeltemperaturene for tiårsperiodene 1970 – 79, 1980 – 89, 1990 – 99, og 2000 – 2009, er det hele tiden stigning. En kan også skille mellom år med El Niño, La Niña og nøytrale forhold. En finner da at for perioden 1950 til 2012 var 2012 det varmeste året med La Niña forhold.

Det er viktig å være klar over at størstedelen av den tilleggsvarme kloden har mottatt på grunn av økt drivhuseffekt, er tatt opp av havet. Siden 1955 er andelen beregnet til 93 prosent. Mellom 1955 og 2010 har havene ned til 2000 meter i gjennomsnitt blitt 0,09 grader varmere.

Det må imidlertid understrekes at klimafølsomheten, som er økningen i global temperatur for en dobling av CO_2-konsentrasjonen, er usikker. FNs klimapanel (IPCC) anga i sin 2007-rapport at den sannsynligvis ligger i intervallet 2 – 4,5 grader. Enkelte senere arbeider har kommet til at verdien ligger i den lavere delen av intervallet eller til og med kan være under 2, men dette omstridt.



Global temperatur fra 1880 til 2011 relativt til middel-temperaturen for 1880 - 1920

5. Kan vi stole på temperaturmålingene?

Jordens middeltemperatur kan beregnes fra direkte målinger på land og over hav eller fra satellittobservasjoner. Begge metoder har sine fordeler og ulemper. Ved den første metoden må en fra målinger på et begrenset antall steder komme fram til en global middeltemperatur. Ulike grupper benytter litt forskjellige metoder. For målinger til havs har ulike metoder blitt benyttet, noe som øker usikkerheten. De tre vanligst refererte gruppene har likevel kommet fram til svært like kurver for temperaturutviklingen. Et arbeid som benytter et mye større datamateriale, viser også samme temperturutvikling over land som funnet i de andre studiene. (Den siste studien er ennå ikke publisert annet enn i en foreløpig versjon, så den må tas med litt forbehold.) Etter diverse nødvendige korreksjoner viser også satellittmålingene, som begynte i 1979, svært nær samme utvikling som bakkemålingene.

Noen hevder at en ikke kan stole på temperaturkurvene siden omgivelsene rundt mange målestasjoner har endret seg med tiden særlig fordi det er blitt mer bebyggelse i området. Dette betegnes gjerne urbaniseringseffekten. Mange studier, der en korrigerer for effekten eller sløyfer stasjoner der den kan være av betydning, har imidlertid vist at dette ikke fører til betydelige feil. Som nevnt gir dessuten satellittmålinger nær samme utvikling som målinger ved jordoverflaten.

6. Klimaet har alltid endret seg. Er det ikke da rimelig å anta det er naturlige årsaker til endringene vi har sett i det siste?

De naturlige faktorene som påvirker klimaet, er særlig partikler fra vulkanutslipp, variasjoner i solinnstrålingen og variasjoner i havstrømmene. Ser en på temperaturutviklingen fra rundt 1970, har det ikke vært mulig å forklare denne ut fra disse faktorene, selv om de forklarer en del, opp til en tredjedel ifølge en nylig publisert artikkel. Dagens menneskeskapte klimaendringer kommer altså som et tillegg til de naturlige variasjonene.

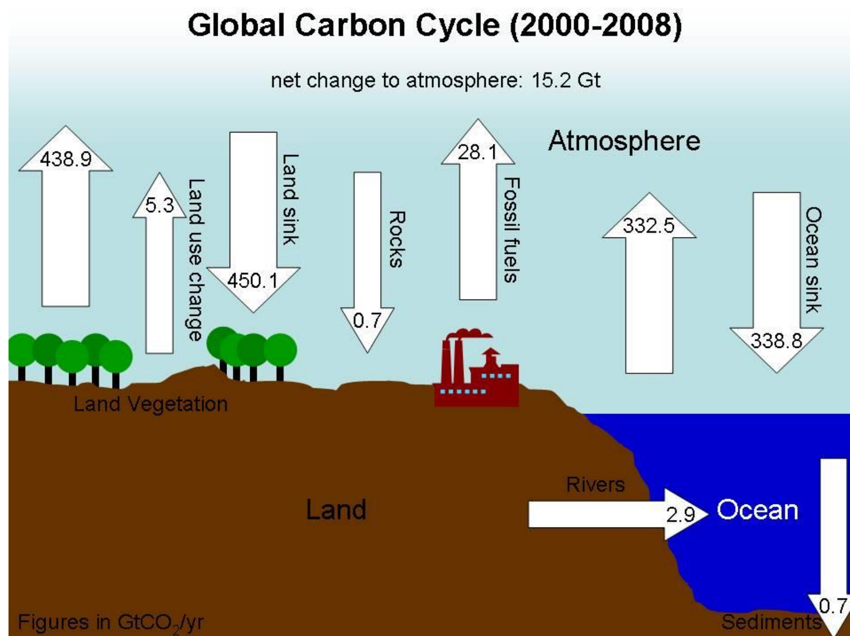
Det er svært stor enighet om den fundamentale drivhusmekanismen – at økte konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren fører til at jorda mottar mer energi. Det er mer usikkert hvordan økt temperatur vil medføre forandringer som i sin tur påvirker klimaet, såkalte tilbakekoplinger, se spørsmål 8.

Det har vært foreslått at variasjoner i kosmisk stråling, via påvirkning av skydannelsen, er en viktig årsak til klimaendringer. Utviklingen i kosmisk stråling og observert variasjon i skydekket etter 1970 passer imidlertid ikke med denne teorien.

7. Det er mye større naturlige utslipp av CO_2 enn det er menneskeskapte. Hvorfor mener man da at de menneskeskapte har så stor betydning?

I førindustriell tid var det en tilnærmet balanse mellom utslipp og opptak av CO_2. Selv om de menneskeskapte utslipp ikke utgjør mer enn kanskje 4 - 5 % av strømmen av CO_2 til atmosfæren (se figur nedenfor), så forstyrrer disse utslippene denne balansen. Riktignok øker naturens opptak noe når konsentrasjonen i atmosfæren øker, men mer enn halvparten av de menneskeskapte utslippene blir igjen i atmosfæren. Derfor har CO_2-konsentrasjonen økt fra omtrent 280 ppm (parts per million) til 393 ppm de siste 250 år.

Som nevnt under spørsmål 2, skyldes økningen i CO_2-konsentrasjonen i atmosfæren først og fremst bruk av fossilt brensel. Det har vært fremsatt påstander om at bare 4 – 5 % av CO_2-mengden i atmosfæren kan være menneskeskapt. Bakgrunnen er at gjennomsnittlig oppholdstid for et CO_2-molekyl i atmosfæren er rundt 5 år. Dette fremgår blant annet av forholdet mellom ulike former av karbon (isotoper) i CO_2 i atmosfæren. Ved en beregning av i hvilken grad menneskeskapte utslipp har bidratt til økningen i CO_2-konsentrasjonen, må en imidlertid ta hensyn til at det er store naturlige strømmer til og fra atmosfæren, se figur. Tas dette med i beregningene, stemmer forholdet mellom de ulike karbonformer i atmosfæren med at det alt vesentlige av konsentrasjonsøkningen skyldes menneskelig aktivitet.



Det globale karbonkretsløpet – middelverdier 2000 - 2008. Utslippene fra fossilt brensel og sementproduksjon er nå økt til omtrent 33 milliarder tonn (Gt) CO_2. I denne perioden har altså CO_2-mengden i atmosfære økt med 15,2 Gt per år i gjennomsnitt.

8. Kan vi forutsi fremtidige klimaendringer?

For å kunne si noe om fremtidens klima må vi lage (matematiske) modeller som beskriver klimaet. Disse bygger på en mengde ulik informasjon, blant annet om fortidens klima, egenskapene til ulike gasser og partikler i atmosfæren, solinnstråling, havstrømmer og i mer avanserte modeller, karbonkretsløpet. Selv de mest kompliserte modeller er sterkt forenklede fremstilinger av klimasystemet.

Videre er det nødvendig å lage scenarier for menneskeskapte utslipp av klimagasser og partikler. Varierende beregningsresultater skyldes derfor både forskjeller i modellene og i utslippsscenariene. En nødvendig betingelse for at vi skal ha tiltro til en modell, er at den beskriver fortidens klima rimelig bra. Det gjør flere av de anvendte modeller, i alle fall når det gjelder utviklingen i global, og til dels regional, temperatur siden slutten av 1800 tallet da målingene begynte. Beregninger av nedbør byr på større problemer, men viktige hovedtrender reproduseres rimelig bra.

Likevel er det stor usikkerhet i beregninger av fremtidens klima, som til dels henger sammen med usikkerheten i klimafølsomheten, se under spørsmål 4. Mye av usikkerheten skyldes for dårlig kunnskap om en del tilbakekoplinger – endringer som skyldes at temperaturen øker og i sin tur påvirker temperaturen. Viktige eksempler er endringer i mengden vanndamp i atmosfæren, i skydannelse og i delen av innkommende stråling som reflekteres fra jordoverflaten (albedo). Det er også stor usikkerhet i hvordan karbonkretsløpet endrer seg ved økt temperatur. Enkelte nylig publiserte arbeider har pekt på at slike endringer kan medføre at CO_2-konsentrasjonen i atmosfæren øker betydelig raskere enn standardmodellene viser for et gitt utslippscenario. Utslipp til atmosfæren av metan og CO_2 på grunn av tining av permafrost kan også bli en betydelig faktor. Også usikkerheten i naturlige klimaendringer spiller en betydelig rolle, se spørsmål 4.

IPCC anga i sin 2007 rapport en beregnet temperaturstigning fra slutten av det 20ende til slutten av det 21ste århundret på mellom 1,1 og 6,4 grader avhengig av utslippscenario og modell. Nyere resultater har ikke endret mye på dette, selv om nedre grense synes noe lav. For å begrense stigningen til nedre del av intervallet, må utslippene reduseres sterkt og helst være negative mot slutten av århundret. Dette kan oppnås for eksempel ved å benytte biobrensel kombinert med fangst og lagring av CO_2. (Langt fra alle typer biobrensel er egnet.) Utslippsutviklingen i senere år følger de mest pessimistiske scenariene, men det er forhåpentlig ikke for sent å snu.

Det er utført mange beregninger over hvor mye klimagasser som kan slippes ut for at ikke temperaturen skal stige med mer en et gitt antall grader, for eksempel 2 eller 4 grader. For å sammenlikne resultater må en se nøye hvilket sannsynlighetsnivå som gjelder, for eksempel om det er meget sannsynlig at den angitte temperaturstigningen ikke overskrides (mer enn 90 prosent sannsynlig), sannsynlig (mer enn 66 prosent) eller bare mer sannsynlig enn at den overskrides (mer enn 50 prosent). Beregningene kan gjelde for dette århundret eller for mange hundre år. Noen ganger oppgis utslippene i GtC og noen ganger i $GtCO_2$.
Resultatene vil også avhenge av hvor fullstendig modellen er, for eksempel om karbonkretsløpet er inkludert og hvordan virkningene av partikler beregnes.

Noen resultater fra studier de siste årene:

- For at det skal være minst 66 prosent sannsynlighet for at den globale temperaturen ikke skal stige med mer enn to grader, må de totale CO_2-utslippene fra år 2000 og utover ikke overstige 2200 $GtCO_2$; skal sannsynligheten være 90 prosent blir tallet omtrent 600 $GtCO_2$. Dagens utslipp er omtrent 35 $GtCO_2$ per år. I tillegg kommer andre klimagasser.
- For en middels klimafølsomhet er det på lang sikt ikke tilstrekkelig å redusere dagens utslipp med 90 prosent dersom temperatursₜigningen skal holdes under to grader.
- For et scenario der CO_2-utslippene i år 2100 er omtrent tre ganger så store som i dag, viste en studie at det var over 50 prosent sannsynlighet for at temperaturstigningen ville være mer enn 4 grader i 2100.

Modellene gir mest pålitelige resultater for globale temperaturendringer. Nedbørberegninger blir mer usikre, og når det gjelder vindforhold er det svært stor usikkerhet, se spørsmål 10.

9. Er det så farlig om temperaturen stiger litt? Hvilke virkninger kan vi vente?

Virkningene er selvsagt avhengig av hvor stor temperaturøkningen blir. Det er en målsetning at en skal gå inn for å begrense stigningen i global temperatur til maksimum 2 grader fra førindustriell tid, noe som tilsvarer omtrent 1,2 grader over dagens temperatur. Enkelte forskere, som den kjente amerikanske klimaforskeren James Hansen, mener dette er for mye fordi det blant annet vil gi betydelig flere og alvorligere hetebølger, betydelig stigning i havnivået og økologiske skader for eksempel tap av korallrev.

Enkelte mulige, viktige virkninger er omtalt under spørsmål 10 og 11. Her skal vi ser mer generelt på nedbør, tørke, virkninger på matproduksjon, helse og biodiversitet. Generelt kan det sies at virkningene sannsynligvis blir alvorligst i mange utviklingsland, særlig i noen av verdens fattigste områder. Disse er spesielt sårbare også på grunn av liten evne til å tilpasse seg til endret klima.

Nedbør og tørke
Det har vært vanlig å si at tørre områder blir tørrere og våtere områder våtere. Stort sett stemmer dette fortsatt. Det er imidlertid klart at beregninger for fremtidig utvikling i mange områder er forbundet med stor usikkerhet. I rapporten fra IPCC i 2007 ble det ansett som sannsynlig at det totale området som er utsatt for alvorlige tørkeperioder, hadde blitt større siden 1970. Dette ble noe modifisert i en senere rapport om ekstremvær fra IPCC. Der ble de store usikkerhetene i historiske tørkedata understreket. En ny studie finner ikke belegg for at det totale arealet av tørkeutsatte områder har økt i senere år, men dette er omstridt.

Jordbruk
Endringer i temperatur og nedbør vil påvirke avlingene. Det vil også høyere CO_2-konsentrasjon i atmosfæren som i de fleste tilfeller øker planteveksten (CO_2-gjødsling). Planter vil også generelt tåle tørke bedre når CO_2-konsentrasjonen øker.

Virkninger av klimaendringer på jordbruket vil variere betydelig fra sted til sted, med hvilken avling en ser på og eventuelle mottiltak. Mens det kan være usikkert om en får en global reduksjon ved mindre endringer i temperaturen, vil skadene øke raskt når den globale temperaturøkningen er mer enn 2 °C. Endringer i ekstremvær, særlig hyppigheten av hetebølger, vil bety mye for skadene en kan forvente i landbruket, se spørsmål 10. De største problemene forventes i flere av de fattigste landene.

Kombinasjon av klimaendringer og andre stressfaktorer, som forurensninger i luft og jord, kan ha betydelig virkning på matproduksjonen. Spesielt vil økning i ozonkonsentrasjonen kunne føre til betydelig avlingstap i mange områder.

Helse
En artikkel i det kjente tidsskriftet Lancet i 2009 hevdet at klimaendringer er det største globale helseproblemet i det 21ste århundret. Helseeffekter av klimaendringer vil forsterke gapet mellom rike og fattige.

Mulige helsevirkninger av klimaendringer omfatter blant annet

- *Skader av ekstremvær.* Flere og kraftigere hetebølger vil, spesielt i kombinasjon med høy luftforurensning, føre til betydelig økning i antall dødsfall. I mange områder vil også kraftigere flommer og kraftigere tropiske orkaner føre til flere dødsfall. Se spørsmål 10.
- *Sult og feilernæring.* Som nevnt vil jordbruket i mange områder bli skadelidende ved forventede klimaendringer. Dette vil kunne øke faren for sultkatastrofer og feilernæring.
- *Endring i utbredelsen av sykdomsfremmende organismer som malariamygg og flått*. I alle fall isolert sett vil klimaendringene føre til at mange flere mennesker vil utsettes for en del smittsomme sykdommer. Ofte vil imidlertid andre forhold ha stor betydning for utbredelsen.

For eksempel vil bedring i sosio-økonomiske forhold kunne redusere økning i antall malariatilfeller.

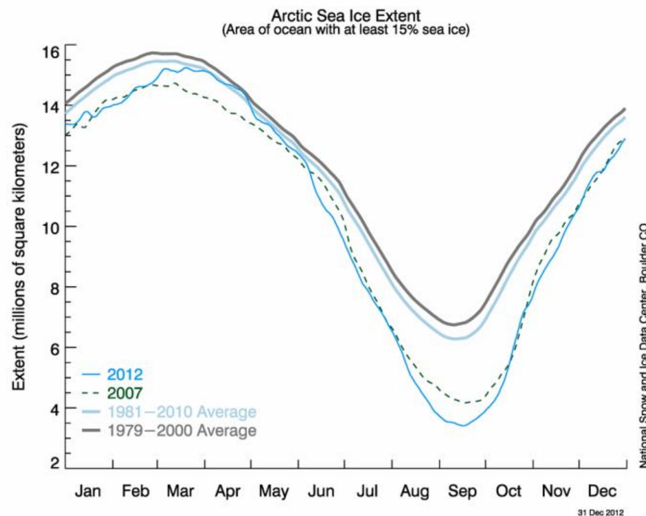
I tempererte områder vil klimaendringer kunne få noen gunstige virkninger som færre dødsfall pga kulde. Totalt sett vil de positive helsevirkningene være mindre enn de negative, spesielt i utviklingsland.

Biodiversitet
Virkninger av klimaendringer på økosystemer vil omfatte endringer i biodiversitet og artssammensetning, og mulig økt sårbarhet for brann og sykdom som kan føre til endringer i økosystemets produktivitet. En rekke observasjoner og modellberegninger tyder på at klimaendringer allerede har begynt å endre utbredelsen av mange plante- og dyrearter. På nordlige halvkule er skiftene nesten bare nordover og mot større høyde. På den måten søker de å ha samme temperaturforhold selv om temperaturen i regionen stiger.

IPCC skrev i 2007 at hvis den globale temperaturen stiger 1,5 - 2,5 grader over dagens nivå, vil det sannsynligvis være økt risiko for at 20 - 30 prosent av plante- og dyreartene som hittil er vurdert, vil bli utryddet. IPPCs konklusjon var delvis basert på svært enkle modeller og må ses på med en viss skepsis.

Vippepunkter
Et vippepunkt i klimasammenheng er et kritisk punkt der systemet endres betydelig, i noen tilfeller irreversibelt. Noen eksempler er nevnt nedenfor. OT står for overgangstid, det vil si tiden det vil ta før en ny tilstand er nådd.

- *Arktisk havis*: Isfritt om sommeren. Nær vippepunktet, OT ca 10 år.
- *Grønlands innlandsis*: Total smelting, OT minst 300 år. (Stor usikkerhet)
- *Vest-Antarktis*: De nyeste målingene tyder på at ismassen avtar, OT minst 300 år. (Stor usikkerhet)
- *Regnskogen i Amazonas:* Oppvarming, mindre nedbør og videre hogst kan føre til tørke og skogdød, OT ca 50 år. (Stor usikkerhet)



I 2012 var minimum i isutbredelsen i Arktis den laveste siden målingene startet i 1979.

10. Blir det mer ekstremvær (hetebølger, voldsomme nedbørepisoder, stormer) i fremtiden?

En nylig utkommet rapport fra FNs klimapanel (IPCC) om ekstremvær, konkluderer med at det er praktisk talt sikkert at det på global skala vil bli en økning i hyppigheten og størrelsen av ekstreme daglige maksimumstemperaturer og en reduksjon i kalde ekstremverdier i dette århundret. Eksempler på hetebølger der klimaendringer sannsynligvis har spilt en rolle, er de ekstreme temperaturene i Mellom-Europa i 2003 og i Russland i 2010.

Den kjente amerikanske klimaforskeren James Hansen har sett på landstasjoner på nordlige halvkule som har temperaturmålinger tilbake til i alle fall 1930. Han viser at andelen ekstremt varme somre har økt kraftig fra tiåret 1931 – 1941 og til tiåret 2001 – 2011.

Det har vært diskutert hvorvidt de nevnte hetebølgene skyldes naturlige meteorologiske forhold. James Hansen skriver: Slike naturlige forhold har alltid forekommet, men på grunn av global oppvarming er ekstreme hendelser blitt kraftigere og mer utbredt.

Det er også sannsynlig at hyppigheten av kraftig nedbør eller delen av total nedbør i form av kraftig regn vil øke i mange områder i dette århundret.

Mens IPCC konkusjon i 2007 var at det var sannsynlig at det globalt hadde vært en økning i områder utsatt for alvorlig tørke, understreker den nye rapporten om ekstremvær den store usikkerheten på dette punkt.

Den gjennomsnittlige, maksimum vindstyrke i tropiske sykloner vil sannsynligvis øke, men ikke nødvendigvis i alle havområder. Globalt er det er sannsynlig at hyppigheten av tropiske sykloner enten vil avta eller forbli omtrent uendret.

Når det gjelder utvikling i vindhastighet utenom tropiske sykloner har utviklingen ikke vist særlig tydelige trender. En studie fra 2011 tydet på at oppvarming fører til mindre ekstremvind, men mer ekstremnedbør, i tropene.

Selv om det vil regne mer over store deler av verden, spesielt i tropiske områder og rundt polene, er det usikkert om antall flomhendelser vi øke. Det beror nemlig også på lokale geografiske forhold og hvordan vi regulerer vassdragene.

11. Hvor mye vil havnivået stige?

Det er betydelig usikkerhet knyttet til fremtidig stigning i havnivået. Ifølge en nylig utkommet artikkel der en rekke utslippsscenarier ble benyttet, vil det globale midlet for stigningen frem til 2100 være mellom 60 cm og vel 100 cm. Det vil være betydelige regionale variasjoner. Ser vi helt frem til 2300, blir stigningen adskillig større. Et scenario som gir en temperaturøkning på 2 grader, ga en havnivåstigning på 267 cm som mest sannsynlig verdi. Usikkerheten er riktignok betydelig, det er 90 prosent sannsynlighet for at verdien ligger mellom 156 cm og 401 cm. Beregningene viser at stigningen fortsetter etter 2300. Bare ved betydelig fjerning av CO_2 fra atmosfæren, for eksempel ved en kombinasjon av stor-skala bruk av bioenergi og fangst og lagring av karbon, kan havnivåstigningen stanses i løpet av noen få hundre år.

Det er meget sannsynlig at stigning i havnivå vil bidra til mer ekstreme høyvannsepisoder i kystområder. Sammen med den sannsynlige økningen i maksimum vindhastighet for tropiske sykloner, er dette et spesielt problem for små, tropiske øystater.

12. Hva kan vi gjøre for å begrense skadevirkninger av klimaendringer?

I senere år er det kommet flere utredninger av mulige tiltak og virkemidler for eksempel fra Det internasjonale energibyrået (IEA), OECD, IPCC 2007, Global Energy Assessment 2012, Verdensbanken og regionale utredninger som for eksempel Californias Energy Future 2011. Hovedbudskapene er de samme:

- Det er mulig å skape lavutslippssamfunn som også er velferdssamfunn, og det vil ikke koste særlig mye. En kan samtidig øke energiproduksjonen som er nødvendig for å bringe fattige land ut av fattigdommen.
- Mye av teknologien og mange av virkemidlene er allerede tilgjengelige.
- Det er et stort potensiale for å utvikle løsningene videre ved bruk av forskning og utvikling.
- Kostnadene ved å begrense utslippene slik at temperaturen ikke stiger mer enn to grader øker raskt jo lenger en utsetter de nødvendige tiltak.

Med andre ord er løsningen først og fremst av politisk art.

En må satse både på å redusere klimagassutslippene og, siden noe økning i global temperatur er uunngåelig, på tilpasning.

Basert på en rekke studier publiserte UNEP i 2011 en rapport som vurderte hvordan utslippene i 2020 måtte være for at 2-graders-målet skal nås. Resultatene ble sammenliknet med utslippene ved å fortsette som før (BAU= Business-As-Usual). De kom til at forskjellen, gapet, ville være omtrent 12 milliarder tonn CO_2-ekvivalenter ($GtCO_2$-ekv). Dersom landene følger opp tilsagn om tiltak vil gapet

reduseres til mellom 6 og 11 $GtCO_2$-ekv. Utslippene i 2010 var omtrent 48 $GtCO_2$-ekv. De viktigste tiltakene er:

- Bedre effektiviteten både ved produksjon og forbruk av energi.
- Produsere opp til 28 % av total primærenergi fra andre kilder enn fossilt brensel i 2020. I 2005 var andelen 18,5 %.
- Produsere opp til 17 % av total primærenergi i 2020 fra biomasse. I 2005 var andelen 10,5 %.
- Produsere opp til 9 % av total primærenergi fra andre fornybare kilder enn biomasse. I 2005 var andelen 2,5 %.
- Redusere utslipp av andre klimagasser enn CO_2 med 19 %.

Potensialet for å redusere utslippene ble beregnet. Resultatet for ulike sektorer er angitt i tabellen nedenfor. Det fremgår at det er betydelige muligheter for reduksjoner innen alle de store utslippssektorene. Totalt er potensialet betydelig større enn det som ble angitt som nødvendig reduksjon for å kunne oppnå 2-graders-målet. Kostnader for reduksjonene vil variere, men ikke overstige 50 – 100 US$ per tonn CO_2-ekv.

Sektor	Potensial for utslippsreduksjon ($GtCO_2$-ekv)
Kraftproduksjon	2,2 – 3,9
Industri	1,5 – 4,6
Transport (unntatt fly og skip)	1,4 – 2,0
Bygninger	1,4 – 2,9
Skogbruk	1,3 – 4,2
Jordbruk	1,1 – 4,3
Avfall	Ca 0,8
Totalt (Uten fly og skip)	16 ± 3
Totalt (Inkludert fly og skip)	**17± 3**

Rapporten angir et reduksjonspotensial på 0,1 $GtCO_2$-ekv for flytrafikk og 0.2–0.4 $GtCO_2$-ekv for skipstrafikk. På grunn av avrunding ser bidraget større ut i tabellen.

Mange forskere mener satsing på kjernekraft er nødvendig i en overgangsperiode. Karbonfangst og lagring er et annet alternativ. Det arbeides med videreutvikling av slike teknikker i flere land, men utviklingen går langsomt. Teknisk manipulering, såkalt geoengineering, diskuteres også. Det omfatter ganske drastiske tiltak som å sende partikler opp i atmosfæren for å begrense innstrålingen og gjødsling av store havområder med jern for å øke algeveksten og dermed opptaket av CO_2. En hovedinnvending mot slike tiltak er at det kan medføre alvorlige uønskete bieffekter. Ved mindre drastiske tiltak som å ha ta hensyn til virkningen på albedo ved jord- og skogbruk, er faren for alvorlige uheldige konsekvenser liten, men i de fleste tilfeller er klimagevinsten heller ikke så stor.

Det vil føre for langt å gå inn på mange konkrete forslag til utslippsreduksjoner. Energieffektivisering er i mange tilfeller den beste måten å redusere utslipp av klimagasser. Av konkrete tiltak er mer bruk av varmepumper til oppvarming et effektivt tiltak særlig i Norge der

det benyttes mye elektrisk fyring. Elektriske biler er også generelt en fordel, men den reelle gevinsten er ofte mindre enn mange tror siden Norge er knyttet til det europeiske strømnettet. Det mest realistiske er derfor å regne at elektrisiteten er fremstilt ved en blanding av ulike metoder som kullkraft, gasskraft, kjernekraft og fornybar energi. Bedre isolasjon og utnyttelse av varmen i bygninger, mer bruk av kollektivtransport og færre flyreiser, er også viktig.

Reduksjon av avskogning i tropene bidrar til å begrense CO_2 utslippene, men det ser ut til at klimagevinsten er mindre enn antatt i IPCC-rapporten fra 2007. Bidraget til de globale CO_2-utslippene fra avskogning i tropene er nå sannsynligvis omkring 10 %, men usikkerheten er stor.

Utviklingen i det siste har ikke vært gunstig. Utslippene av CO_2 økte med omtrent 3 prosent fra 2010 til 2011. Økningen skyldes vekst i utslippene i utviklingsland. Se figur under spørsmål 2 og artikkel på CICEROs nettsider, "Utslippene peker mot fem grader" (http://www.cicero.uio.no/webnews/index.aspx?id=11831)

Det ser ut til å bli sterkt økende bruk av såkalt ukonvensjonelle fossile kilder som oljesand og særlig skifergass, i de nærmeste årene. I begge tilfeller er det betydelige lokale problemer som er dårlig kartlagt. Utnyttelse av oljesand krever mye energi, og det totale klimagassutslippet ved utvinning og forbrenning er klart større enn for olje fra vanlige kilder. Ved utvinning av skifergass vil det også slippes ut en del metan, og dette kan medføre at det totale klimagassutslipp kan bli større enn for bruk av kull i alle fall i et 20-årsperpektiv.

13. Havforsurning har vært nevnt som en annen virkning av CO_2-utslipp. Hva er det og hvor alvorlig kan det være?

Surheten i en vandig løsning måles på en pH-skala fra 0 til 14. Nøytralt vann har en pH på 7. Lavere verdi betyr at løsningen er sur, høyere verdi at den er basisk. Skalaen er logaritmisk slik at ved en endring på en pH-enhet blir surheten endret med en faktor på 10.

Havet har en pH på 7,9 – 8,2 i overflatelaget, men det varierer en del både i tid og rom. I dypere lag er pH noe lavere. Havet er altså ikke surt og kommer sannsynligvis heller ikke til å bli det. Men havets pH kan forskyves mot den sure siden, og derfor er det vanlig å snakke om havforsurning. Forsurning av havet skyldes først og fremst tilførsel av karbondioksid (CO_2).

Menneskeskapte CO_2-utslipp hadde allerede omkring år 2000 senket havets pH med omtrent 0,1 enheter i forhold til førindustriell tid. I år 2100 kan verdien ha sunket med ytterligere 0,2 til 0,3 enheter avhengig av utslippsscenariet. Den største usikkerheten ved beregning av pH endringer på grunn av økt CO_2-konsentrasjon ligger i hastigheten som nøytraliseringen foregår med.

Når havet blir surere, avtar karbonatkonsentrasjonen. Konsekvensen er at organismer som danner skall eller skjelett av kalk er spesielt utsatt. Laboratoriestudier har vist at mange, men ikke alle, slike organismer påvirkes negativt når pH i havvann avtar. Det er imidlertid mange ukjente faktorer, og forskerne får noen ganger store overraskelser. Noen arter ser ut til å klare seg selv om pH er svært lav, i det minste over kort tid.

For dannelsen av kalkskall er det pH ved dannelsesstedet som er avgjørende. En nylig publisert studie har vist at enkelte korallarter kan regulere pH der dannelsen foregår slik at endringen her er omtrent halvparten av endringen i de frie vannmassene.

Mange marine organismer er utsatt for andre stressfaktorer samtidig med at det er en forsurning. Dette kan være oppvarming, forurensning, fangst eller endringer i havstrømmer. Det er svært vanskelig å forutsi hvordan en kombinasjon av slike stressfaktorer påvirker organismene.
Også organismer høyere opp i næringskjeden kan påvirkes, dels ved at artssammensetningen av byttedyr endres, dels ved at respirasjonen påvirkes.

Det er ikke bare pH-endringene som medfører at økende CO_2-nivåer påvirker marine arter. Sansene og adferden kan påvirkes mer direkte.

